Bt 棉叶对棉铃虫抗虫性的时空变化及气象因素的影响

孟凤霞，沈晋良*，褚姝频
（南京农业大学农业部病虫监测与治理基础实验室，南京　210095）

摘要：用叶片喂饲法，测定了转 Bt 基因棉不同叶位、不同生长时期的叶片对棉铃虫初孵幼虫抗虫性的时空变化，同时测定了大田和室内不同气象条件下生长的侧枝和苗期叶片对棉铃虫抗虫性的影响。结果表明：转 Bt 基因棉 R_{19}-137 株系主茎第 2～10 叶的抗虫性最高，初孵幼虫处理 5 天后的平均死亡率为 97.0%～100%，为害级别在 1.0～1.1 级；第 11～16 叶的抗虫性明显下降，平均死亡率为 35.6%～67.6%，存活幼虫以 2 龄为主。7 月下旬、8 月下旬测定了不同部位侧枝叶片的抗虫性，平均死亡率分别为 30.9%～44.9%和 10.0%～30.0%，抗虫效果进一步下降。试验结果还表明，在室内外不同气候条件下生长的 Bt 棉叶片的抗虫性有显著差异。讨论了 Bt 棉抗虫性时空变化的可能原因与 Bt 棉推广中气候条件的重要性。
关键词：转 Bt 基因棉；棉铃虫；叶片抗虫性；时空变化；气象因素
中图分类号：Q968；S435　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296（2003）03-0299-06

Temporal-spatial variation in efficacy of Bt cotton leaves against *Helicoverpa armigera*（Hübner）and effect of weather conditions

MENG Feng-Xia，SHEN Jin-Liang*，CHU Shu-Pin（Key Lab of Monitoring and Management of Plant Diseases and Insects，Ministry of Agriculture，Nanjing Agricultural University，Nanjing　210095，China）

Abstract：The temporal-spatial variation in efficacy of transgenic Bt cotton leaves from different nodes of the main stem and in different growth stages against neonate larvae of the cotton bollworm，*Helicoverpa armigera*（Hübner）were determined using the leaf-feeding method. The effects of leaves from both lateral branches of cotton in the field and seedlings in laboratory grown under different weather conditions on the neonates of the cotton bollworm were examined. Results show that efficacy of the leaves from the 2nd to 10th nodes on the main stem of Bt cotton R_{19}-137 was the highest，killing 97.0%－100% of larvae after 5 d feeding with 1.0－1.1 grades of leaf damage；the efficacy of the leaves from the 11th to 16th nodes decreased significantly with mortalities of 35.6%－67.6%，and survivors mainly in the 2nd instar. When the leaves from lateral branches of cotton in late July and late August were tested，mortalities of 30.9%－44.9% and 10.0%－30.0% occurred，respectively，indicating further decline of the control efficacy. The experiments also show significant influence of weather conditions，under which the Bt cotton grew，on the control efficacy of its leaves. The possible reasons for temporal-spatial variations in efficacy of Bt cotton leaves against the cotton bollworm and the importance of weather conditions in Bt cotton application were discussed.
Key words：transgenic Bt cotton；*Helicoverpa armigera*；leaf efficacy；temporal-spatial variation；weather factors.

棉花是我国重要的经济作物，棉铃虫 *Helicoverpa armigera*（Hübner）是我国棉花的主要害虫，棉铃虫产卵的主要部位是棉花的顶尖、嫩叶、蕾及苞叶。卵孵化后，初孵幼虫首先啃食危害棉花顶部嫩叶。自从 1987 年转 Bt 基因棉（又称 Bt 棉）在美国问世（Perlak *et al.*，1990）以来，因其对多种鳞翅目害虫具有特异杀虫活性，因而减少了化学农药的使用量，节省了劳动力，使农业生产成本降低。1996 年后，转 Bt 基因棉在全球被迅速大面积推广种植，由此，转 Bt 基因棉已经成为人们研究的热

基金项目：国家自然科学基金（39970494）；教育部博士点基金（2000030703）
作者简介：孟凤霞，女，1967 年生，山东阳谷人，博士，研究方向为昆虫毒理与抗药性，现为中国农业大学昆虫毒理室博士后研究人员，E-mail：fxiameng@hotmail.com
* 通讯作者 Author for correspondence
收稿日期 Received：2002-11-12；接受日期 Accepted：2003-03-20

点。众多对转 Bt 基因棉抗虫性研究结果表明：在转 Bt 基因棉的生长过程中，同一组织的抗虫性呈逐渐下降的趋势（Perlak *et al*.，1990；Fitt *et al*.，1994；崔金杰和夏敬源，1999；束春娥等，1998；陈松等，2000；孟凤霞等，2000；芮昌辉等，2002）；然而，在生长中后期其抗虫性也有略上升的现象出现（崔金杰和夏敬源，1999）。我国棉花种植的面积大，分布广，地理位置及气候条件差异较大。因此，对转 Bt 基因棉抗虫性的研究，明确气象因素对转 Bt 基因棉抗虫性的影响，将有利于棉铃虫防治工作的顺利进行，并且能更好地指导转 Bt 基因棉在不同地区的推广应用。我们用叶片喂饲法，研究了转 Bt 基因棉 R_{19}-137 叶片对棉铃虫的抗虫性时空表达变化及气象因素对转 Bt 基因棉抗虫性的影响，现将结果整理如下。

1 材料与方法

1.1 棉花品种

转 Bt 基因棉：R_{19}-137 是转 Bt 基因棉的育种材料 R_{19} 的 137 株系，仅表达 Bt 单个毒素蛋白 Cry1Ac，由中国农业科学院棉花研究所提供；新棉 33^B 是孟山都公司在华北棉区推广的种植品种，也表达 Bt 单个毒素蛋白 Cry1Ac，由孟山都公司提供。

常规对照棉：苏棉 12 号，由太仓市棉花原种场提供。

1.2 供试棉铃虫

SUS_2 是 1991 年采自河南省偃师市棉田的第二代棉铃虫，经过选育后，对 Bt 和常规化学农药为较敏感的实验室品系，在室内用人工饲料（谭福杰，1987）连续饲养 64 代后，用于转 Bt 基因棉 R_{19}-137 的抗虫性测定。邱县棉铃虫于 1999 年 6 月采自河北省邱县棉田第一代成虫，经测定对 Bt 生物农药和 Bt 棉的敏感性略低于 SUS_2，在室内用人工饲料饲养 2 代后，供室内在不同温度条件下进行转 Bt 基因棉叶片抗虫性测定。

1.3 抗虫性测定方法

转 Bt 基因棉叶片对棉铃虫初孵幼虫抗虫性测定，采用本实验室介绍的方法（孟凤霞等，2000）。取转 Bt 基因棉主茎或侧枝顶部倒数第 3 叶，在叶柄基部用浸水的脱脂棉保湿，放入果酱瓶（9 × 10 cm）内，每张叶片接初孵幼虫 5 头，保鲜膜封口后，用昆虫针扎 5 ~ 10 个小孔以通气，并上面盖黑布，光照由下向上，防止幼虫逃逸。在温度为 27 ± 1℃，光周期为 L∶D = 14∶10 的培养箱中喂饲 5 天，记录死虫数、存活幼虫发育龄期及对叶片的为害级别。棉铃虫初孵幼虫为害转 Bt 基因棉叶片的分级标准是：1 级，叶片受害面积小于 5%，针点状取食不连片；2 级，叶片受害面积占 5% ~ 30%，受害部分为小片状分布；3 级，叶片受害面积占 30% ~ 60%；4 级，叶片受害面积大于 60%。

将 1997 年种植于南京农业大学江浦农场试验田的 R_{19}-137 植株分成三组，每组 3 次重复，6 月中旬至 7 月中旬，依次采摘第一组棉株主茎第 2、5、8、10、11、14 和 15 叶（主茎叶片由下而上的序号，下同），第二组主茎第 3、6、9、10、12 和 15 叶，第三组第 4、7、10、13、15、16 叶；7 月下旬、8 月下旬分别测定侧枝顶部倒第 3 叶的抗虫性。以明确抗虫性时空表达变化和气象因素对抗虫性的影响。

将转 Bt 基因棉新棉 33^B 种子播种于培养箱中，其光照周期 L∶D 为 16∶8，温度分别为 23℃和 25℃，当棉花幼苗生长到 5 叶期，分别测定对邱县棉铃虫初孵幼虫 5 天的抗虫性，记录幼虫的死亡率。

1.4 气象资料

由南京市江埔县气象站提供。

2 结果与分析

2.1 转 Bt 基因棉主茎叶片的抗虫性

用 R_{19}-137 棉株主茎第 2 ~ 10 叶，喂饲初孵幼虫 5 天平均死亡率为 97.0% ~ 100%，对叶片的为害级别为 ≤1.1 级，仅第 9、10 叶有极少数 1 ~ 2 龄幼虫存活，Bt 棉抗虫效果极好；喂饲第 11 ~ 16 叶后，初孵幼虫的平均死亡率为 35.6% ~ 67.6%，存活幼虫以 2 龄为主，少数出现 3 龄，为害级别为 1.4 ~ 2.1 级，抗虫效果明显下降，但与常规对照棉苏棉 12 相比仍有较高的抗虫性（表 1）。

2.2 7 月底、8 月底转 Bt 基因棉侧枝叶片的抗虫性

于 1997 年 7 月 22 日（大田棉铃虫发生第 3 代）和 8 月 22 日（大田棉铃虫发生第 4 代）分别采摘 R_{19}-137 的侧枝顶部倒数第 3 叶，每 4 ~ 5 株为一组，重复 3 次，测定幼虫取食 5 天后的抗虫性。结果表明，同一时期不同空间位置侧枝叶片的抗虫性差异不显著。7 月 22 日初孵幼虫取食侧枝叶片 5 天后，平均死亡率为 30.9% ~ 44.9%，存活幼虫以 2 龄为

主，有少数 3 龄，为害级别在 2.4～2.9 级（表 2），而 8 月底的平均死亡率为 10.0%～30.0%，为害程度为 2.8～3.0 级，存活幼虫以 2 龄为主，有 3 龄幼虫出现；与常规棉苏棉 12 相比，死亡率及为害程度差异不显著，但幼虫发育推迟一个龄期。表明在大田，叶片在七月底到 8 月底的抗虫性逐渐下降，此时需要结合其它措施进行棉铃虫的防治才能取得较佳效果。

表 1　转 Bt 基因棉 R_{19}-137 主茎叶片对棉铃虫 SUS_2 初孵幼虫的抗虫性（5 天，27℃）

Table 1　Performance of neonate larvae of the cotton bollworm（SUS_2）on the leaves from stem of the Bt cotton R_{19}-137 for 5 days at 27℃

棉花品系 Cotton variety	日期 Date	叶位 Leaf location	死亡率（%） Mortality	活虫龄期（%） Instar of survivors				叶被害级别 Grade of leaf damage
				1st	2nd	3rd	4th	
R_{19}-137	6.17	2	100 a	0	0	0	0	1.0±0 a
	6.17	3	100 a	0	0	0	0	1.0±0 a
	6.17	4	100 a	0	0	0	0	1.0±0 a
	6.17	5	100 a	0	0	0	0	1.0±0 a
	6.17	6	100 a	0	0	0	0	1.1±0.1 ab
	6.17	7	100 a	0	0	0	0	1.1±0.2 ab
	6.24	8	100 a	0	0	0	0	1.0±0 a
	6.24	9	97.0± 3.8 a	100	0	0	0	1.0±0.1 a
	7.04	10	97.0± 1.0 a	31.6	68.4	0	0	1.1±0.1 ab
	7.04	11	67.6± 4.1 b	26.9	65.4	7.7	0	1.4±0.1 bc
	7.04	12	45.8± 3.7 bc	12.1	80.8	7.1	0	2.0±0.3 de
	7.04	13	35.6±13.9 c	0	96.0	4.0	0	2.1±0.4 e
	7.18	14	52.0±21.1 cd	23.1	76.9	0	0	1.7±0.4 de
	7.18	15	55.2±11.0 cd	27.4	72.6	0	0	1.5±0.1 cf
	7.18	16	46.7± 6.7 d	33.3	55.6	11.1	0	1.5±0.2 cf
苏棉 12（CK）	6.17	2	12.0±17.9 a	0	63.2	36.8	0	3.6±0.5 ab
Sumian 12	6.17	3	8.0±11.0 a	13.0	39.1	47.9	0	3.0±0 b
	6.17	4	8.0±11.0 a	0	17.4	82.6	0	3.3±0.5 ab
	6.17	5	16.0±16.7 a	4.8	0	95.2	0	3.2±0.8 ab
	6.17	6	15.0±19.1 a	4.5	54.5	41.0	0	3.0±0 a
	7.03	7	0a	0	6.7	93.3	0	3.6±0.5 ab
	7.03	8	4.0± 8.9 a	0	0	95.8	4.2	4.0±0 a
	7.03	9	4.0± 8.9 a	0	14.8	70.4	14.8	4.0±0 a
	7.04	10	4.0± 8.9 a	0	16.7	83.3	0	3.2±0.4 ab
	7.04	11	12.0±17.9 a	0	13.0	87.0	0	3.0±1.0 a
	7.04	12	0a	0	3.8	96.2	0	4.0±0 a
	7.04	13	12.0±11.0 a	0	0	100	0	3.8±0.4 ab
	7.18	14	8.0±11.0 a	0	0	100	0	3.8±0.4 ab
	7.18	15	20.0±20.0 a	0	9.5	90.5	0	3.2±0.4 ab
	7.18	16	20.0±16.3 a	0	11.1	88.9	0	3.0±0 a

表中数据是平均值±标准差，数据后有不同字母表示差异显著（$P\leqslant0.05$，新复极差检验），后同 Data are mean ± *SD*，means followed by different letters are significantly different at $P\leqslant0.05$ by Duncan's mutipole range test. The same for the following tables.

表 2 转 Bt 基因棉 R_{19}-137 侧枝叶片对棉铃虫 SUS_2 初孵幼虫的抗虫性

Table 2 Efficacy of leaves from lateral branches of the Bt cotton R_{19}-137 against the neonate larvae of cotton bollworm (SUS_2)

棉花品系 Cotton variety	侧枝部位* Branch location	死亡率（%） Mortality	活虫龄期（%） Instar of survivors				叶被害级别 Grade of leaf damage
			1st	2nd	3rd	4th	
7 月 22 日 July 22							
R_{19}-137	2	38.3 ± 2.9 a	0	100	0	0	2.8 ± 0.3 a
	3	36.1 ± 16.4 a	4.9	95.1	0	0	2.7 ± 0 a
	4	39.3 ± 5.6 a	3.6	96.4	0	0	2.6 ± 0.3 a
	5	39.2 ± 15.3 a	10.9	87.3	1.8	0	2.6 ± 0.4 a
	6	30.9 ± 14.3 a	11.5	88.5	0	0	2.9 ± 0.4 a
	7	40.3 ± 6.7 a	12.5	85.7	1.8	0	2.4 ± 0.2 a
	8	33.8 ± 6.0 a	8.2	91.8	0	0	2.9 ± 0.1 a
	9	39.8 ± 11.7 a	6.2	90.8	3.0	0	2.7 ± 0.2 a
	10	38.3 ± 12.4 a	6.9	91.4	1.7	0	2.7 ± 0.2 a
	11	44.9 ± 9.1 a	4.1	95.9	0	0	2.9 ± 0.1 a
	12	38.7 ± 15.8 a	2.4	95.1	2.5	0	2.9 ± 0.4 a
	13	44.4 ± 16.8 a	13.0	82.6	4.4	0	2.7 ± 0.3 a
苏棉 12（CK）Sumian 12	7 ~ 11	13.0 ± 5.3	6.5	58.0	35.5	0	3.4 ± 0.5
8 月 22 日 August 22							
R_{19}-137	14	30.0 ± 26.5 a	0	87.5	12.5	0	3.0 ± 0 a
	15	11.0 ± 10.2 a	0	84.8	15.2	0	2.8 ± 0.3 a
	16	10.0 ± 10.0 a	7.0	81.4	11.6	0	3.0 ± 0.3 a
	17	17.7 ± 10.2 a	2.4	92.7	4.9	0	3.0 ± 0.6 a
	18	30.0 ± 17.3 a	4.5	95.5	0	0	3.3 ± 0.3 a
苏棉 12（CK）Sumian 12	14	20.0 ± 20.0 a	0	0	69.2	30.8	3.0 ± 1.0 a
	15	10.0 ± 10.7 a	0	6.3	75.0	18.7	3.4 ± 0.9 a
	16	7.5 ± 10.4 a	0	3.4	94.6	0	4.0 ± 0 a
	17	6.7 ± 11.5 a	0	0	71.4	28.6	3.7 ± 0.6 a
	18	6.7 ± 11.5 a	0	0	100	0	4.0 ± 0 a

* 侧枝所在的主茎叶位 Location of the nodes on the main stem where the lateral branches grew.

2.3 不同环境条件下转 Bt 基因棉的抗虫性变化

在上述转 Bt 基因棉叶片的抗虫性时空变化测定过程中，发现当地表温度、空气相对湿度和光照时间不同时，叶片的抗虫性有显著的差异。在 7 月中、下旬两次抗虫性测定前 1 周（相当于待测叶片的生长期）其地表温度、空气相对湿度和周累计降雨量（在 1 周内的降雨量总和）都有显著差异（表 3）。7 月 22 日的测定结果表明，初孵幼虫取食了转 Bt 基因棉主茎顶部倒数第 3 叶 5 天后的平均死亡率为 28.9%，与 7 月 29 日相同植株叶片测定结果（平均死亡率为 51.5%）差异显著，而对照棉苏棉 12 这两次的结果表明平均死亡率无显著差异（表 4）。由此可见，在地表平均温度为 35.1℃、空气相对湿度为 76.2%、周累计日照为 59.8 h 的气象条件下生长的 R_{19}-137 叶片和地表温度为 30.5℃、相对湿度为 84.4%、周累计日照为 45.2 h 生长的叶片相比抗虫性显著升高（表 3，4）。此结果与本实验室测定蕾的抗虫性变化一致（另文发表）。

2.4 室内不同温度下生长的转 Bt 基因棉叶片的抗虫性

为了确认温度对转 Bt 基因棉叶片抗虫性的影响，用光周期 L:D 为 16:8、温度分别在 23℃和

25℃的条件下培养转 Bt 基因棉新棉 33B 植株，取其 5 叶期第 3 叶位叶片测定对邱县棉铃虫的抗虫性（因 SUS2 为敏感品系，取食苗期叶片的死亡率均为 100%）。由表 5 可见，喂食 3 天的平均死亡率分别为 71.9%和 94.3%，二者差异显著。表明温度对转 Bt 基因棉叶片的抗虫性有较大影响，在 25℃时生长的叶片抗虫性比在 23℃时生长的抗虫性更强。

表 3　1997 年 7 月 15～28 日南京江埔县的气象资料

Table 3　Weather data of Jiangpu County，Nanjing during July 15–28，1997

时间 Time	气温（℃） Air temperature	相对湿度（%） RH	地表温度（℃） Ground temperature	累计日照（h） Sum of sunlight	累计降雨量（mm） Cumulative rainfall
7.15～21	28.6±1.2 a	84.4±0.4 a	30.5±1.8 a	45.2	374
7.22～28	29.3±0.9 a	76.2±2.1 b	35.1±2.9 b	59.8	11

表 4　在不同气候条件下生长的 Bt 棉叶对棉铃虫的抗虫性

Table 4　Performance of neonate larvae of the cotton bollworm on the leaves of Bt cotton exposed to different weather conditions for one week

日期 Date	棉叶 Cotton leaves	死亡率（%） Mortality	活虫龄期（%）Instar of survivors 1st	2nd	3rd	叶被害级别 Grade of leaf damage
7.22	Bt 棉 Bt cotton	28.9±24.5 a	35.0±10.8 a	65.0±10.8 a	0 a	2.7±0.6 a
	苏棉 12（CK）Sumian 12	12.0±17.9 a	0 b	11.6±3.2 b	88.4±3.2 b	3.5±0.6 a
7.29	Bt 棉 Bt cotton	51.5±23.1 b	35.8±10.1 a	65.2±10.1 a	0 a	2.8±0.6 a
	苏棉 12（CK）Sumian 12	16.7± 9.8 a	0 b	79.7±1.9 a	20.3±1.9 c	3.6±0.7 a

在 27℃下喂饲 5 天，棉叶生长的气象条件见表 3 Feeding 5 d at 27℃；see table 3 for the weather condition.

表 5　温度对 Bt 棉新棉 33B 叶片抗虫性的影响（3 天，27℃）

Table 5　Effect of temperature on resistance of the Bt cotton（33B）leaves to neonate larvae of the cotton bollworn within 3 days at 27℃

温度（℃） Temperature	重复数 n	试虫总数 Total larvae tested	死亡率（%）* Mortality
25±1℃	3	330	94.3±1.9 a
23±1℃	3	130	71.9±3.4 b

* 存活幼虫全为 1 龄 All survivors were 1st instar larvae.

3　讨论

目前转 Bt 基因棉所用的启动子多为 CaMV 35s 启动子，由于不具有组织特异性，因此理论上讲可在棉株任何组织表达，但外源 Bt 基因导入棉株后，由于受棉花内源化合物和外界环境条件的影响，Bt 毒蛋白的表达可能会发生不同程度的变化，从而表现出抗虫性的时空变化。

由于转 Bt 基因棉抗虫性的时空变化，根据棉铃虫的发生发展规律，在推广应用转 Bt 基因棉的地区必须实施棉铃虫的综合治理。在二代棉铃虫的发生期结合天敌和灯光诱蛾等防治措施，不用或极少使用化学农药；在三、四代棉铃虫的发生期，虽然大田植株表现出不同程度的抗虫性，但因幼虫密度和持续时间比二代有所增加，再加上叶、蕾、花、铃等不同组织的抗虫性差异，中后期更有利于棉铃虫的生长发育，对蕾铃的为害会加重，因此必须辅以化学防治和其它的防治措施。由于我国棉花种植面积大、分布广，各地气候条件的差异很大，如果不考虑各个地区的气候差异而广泛进行转 Bt 基因棉的推广种植，可能会影响转 Bt 基因棉的实际应用效果，降低这项高科技生物技术成果的应用价值。

致谢　感谢中国农业大学昆虫毒力室高希武教授对本文撰写提出宝贵建议，南京农业大学棉花育种研究室唐灿明老师在棉花种植方面提供方便，以及南

京市江浦植保站提供有关气象资料。

参 考 文 献 （References）

Chen S, Wu J Y, Zhou B L, Hang J Q, Zhang R X, 2000. The temporal and spatial expressions of Bt toxin protein in Bt transgenic cotton. *Acta Gossypii Sinica*, 12 (4): 189 – 193. [陈松，吴敬音，周保良，黄骏麒，张荣铣，2000. 转 Bt 基因棉 Bt 毒素表达量的时空变化. 棉花学报，12 (4): 189 – 193]

Cui J J, Xia J Y, 1999. Studies on the resistance dynamic of the Bt transgenic cotton on cotton bollworm. *Acta Gossypii Sinica*, 11 (3): 141 – 146. [崔金杰，夏敬源，1999. 转 Bt 基因棉对棉铃虫的时空表达动态. 棉花学报，11 (3): 141 – 146]

Fitt G P, Mares C L, Csiro D J L, 1994. Field evaluation and potential ecological impact of transgenic cottons in Australia. *Biocontrol Science and Technology*, 4: 535 – 548.

Meng F X, Shen J L, Zhou W J, Gao C F, Tang C M, 2000. Studies on the bioassay methods for resistance of transgenic Bt cotton to *Helicoverpa armigera* (Hübner). *Journal of Nanjing Agricultral Unversity*, 23 (1): 109 – 113. [孟凤霞，沈晋良，周威君，高聪芬，唐灿明，2000. 转 Bt 基因棉对棉铃虫抗虫性测定方法的研究. 南京农业大学学报，23 (1): 109 – 113]

Perlak F J, Deaton R W, Armstrong T A, Fuchs R L, Sims S R, Greenplate J T, Fischhoff D A, 1990. Insect resistant cotton plants. *Bio/Technology*, 8: 939 – 943.

Rui C H, Fan X L, Dong F S, Guo S D, 2002. Temporal and spatial dynamics of the resistance of transgenic cotton cultivars to *Helicoverpa armigera* (Hübner). *Acta Entomologica Sinica*, 45 (5): 567 – 570. [芮昌辉，范贤林，董丰收，郭三堆，2002. 不同转基因抗虫棉对棉铃虫抗虫性的时空动态. 昆虫学报，45 (5): 567 – 570]

Shu C E, Sun H W, Sun Y W, Bo L X, Huang J Q, Li S, 1998. Toxic response of cotton bollworm to various parts of Bt-transgenic cotton in different growing stages. *Acta Gossypii Sinica*, 10 (3): 131 – 135. [束春娥，孙洪武，孙以文，柏立新，黄骏麒，李胜，1998. 转基因棉 Bt 毒性表达的时空动态及对棉铃虫生存、繁殖的影响. 棉花学报，10 (3): 131 – 135]

Tan F J, 1987. Methods for resistance monitoring in agricultural insects. *Journal of Nanjing Agricultral Unversity*, 4 (Suppl.): 107 – 122. [谭福杰，1987. 农业害虫抗药性监测方法. 南京农业大学学报，4 (增刊): 107 – 122]